

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-138275

(43)公開日 平成6年(1994)5月20日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

G 2 1 C 7/113

7/27

// G 2 1 C 5/00

GDB A 7808-2G

8204-2G

8204-2G

G 2 1 C 7/ 10

GDB J

7/ 26

GDB S

審査請求 未請求 請求項の数4(全 8 頁)

(21)出願番号

特願平3-64969

(22)出願日

平成3年(1991)3月28日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 平岩 宏司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝総合研究所内

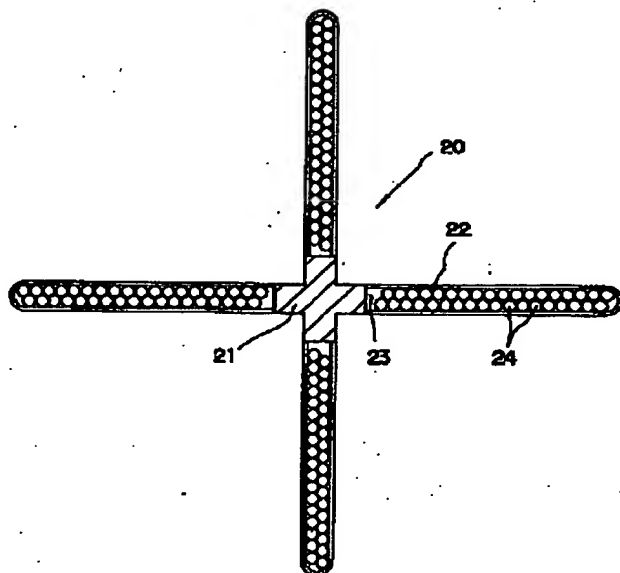
(74)代理人 弁理士 波多野 久 (外1名)

(54)【発明の名称】 原子炉用制御棒、炉心構造およびその運転方法

(57)【要約】

【目的】スペクトルシフト用制御棒を用いて減速材を排除し、減速材燃料体積比を調節して炉心の反応度特性を改善した原子炉用制御棒、炉心構造およびその運転方法を提供するにある。

【構成】本発明は中央構造材21に制御棒シース22を結合して横断面十字状に形成し、上記制御棒シース22内に不活性ガス封入用の水排除空間23を形成してスペクトルシフト用制御棒20を構成し、このスペクトルシフト用制御棒20は低温時における反応度値が出力運転時における反応度値より小さく設定したものである。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 中央構造材に制御棒シースを結合して横断面十字状に形成し、上記制御棒シース内に不活性ガス封入用の水排除空間を形成してスペクトルシフト用制御棒を構成し、このスペクトルシフト用制御棒は低温時における反応度価値が出力運転時における反応度価値より小さく設定したことを特徴とする原子炉用制御棒。

【請求項2】 原子炉炉心部に装荷される燃料集合体の角筒状チャンネルボックスの対角線位置に2つの横断面十字状の制御棒を出し入れ可能に配設し、一方の制御棒をスペクトルシフト用制御棒で構成したことを特徴とする原子炉の炉心構造。

【請求項3】 原子炉の起動時のような炉心低温時にスペクトルシフト用制御棒を炉心挿入状態に保持しつつ、上記スペクトルシフト用制御棒以外の制御棒を優先的に引き抜いて臨界とすることを特徴とする原子炉の運転方法。

【請求項4】 原子炉の出力運転時に、運転サイクルの初めからサイクルの途中までスペクトルシフト用制御棒を炉心に挿入し、その後スペクトルシフト用制御棒を炉心から引き抜いてスペクトルシフト運転を行なうことを特徴とする原子炉の運転方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】〔発明の目的〕

【0002】

【産業上の利用分野】本発明は沸騰水型原子炉等に用いられる原子炉用制御棒、炉心構造およびその運転方法に関する。

【0003】

【従来の技術】沸騰水型原子炉（以下BWRという。）は原子炉圧力容器内に炉心部が形成され、この炉心部に多数の燃料集合体が4体ずつ組をなして装荷され、装荷された燃料集合体間に横断面十字状の制御棒が出し入れ自在に挿入されるようになっている（特開昭63-82392号公報参照）。

【0004】従来の原子炉用制御棒1は、図7に代表的に示すように構成され、中央構造材（タイロッド）2に深いU字状断面を有する制御棒シース3を結合させて横断面十字状に形成される。制御棒シース3内には、B<sub>4</sub>C等の中性子吸収物質を充填させた中性子吸収棒（ボイズンチューブ）4を例えば10数本列状に並べて収容する一方、制御棒1の上部にガイドローラ5付きのハンドル6を、その下部に制御棒駆動機構（以下、CRDという。）切り離し用ハンドル7や下部スカート部8、速度リミッタ9、CRDソケット10を取り付けて形成される。CRDソケット10の下部に図示しないCRDが接続され、このCRDの駆動により制御棒1は炉心内部で上下動せしめられ、原子炉の起動や出力制御を行なうようになっている。

【0005】原子炉用制御棒1のガイドローラ5は、制

2

御棒1を燃料集合体11間の十字状空間に滑かに挿入させるために設けられており、ガイドローラ5は燃料集合体11に接触して回転し、接触摩擦を低減している。ハンドル6は制御棒交換時に把持される部分であり、CRD切り離し用ハンドル7は原子炉圧力容器（図示せず）の外部に設置されたCRDの切断切り離しを行なうために用いられる。速度リミッタ7は制御棒1が炉心から一定以上の速度で引き抜けないように制限するものである。

10 【0006】一方、燃料集合体11は図8に示すように角筒状のチャンネルボックス12内に多数の燃料棒13を例えば8行8列の正方格子状に配列し、中央部に太径のウォータロッド14を収容して構成される。この燃料集合体11を装荷した炉心は減速材である冷却材により冷却される。冷却材は、チャンネルボックス12の内外を流れるようになっている。このうち、チャンネルボックス12内を流れる冷却材は各燃料棒13を冷却して沸騰し、チャンネルボックス12の外側には沸騰しない非沸騰水が流れるようになっている。

20 【0007】従来のBWRでは、図8に示すように、燃料集合体11のチャンネルボックス12の対角線位置に配設される2つの制御棒1、1は、同じ中性子吸収用制御棒が用いられ、制御棒機能の区別は行なわれていない。この制御棒1の制御棒価値は従来の場合低温時には1体当たりほぼ3〜4%ΔK程度、出力運転時には1体当たりほぼ0.1%ΔK程度であり低温度の方が制御棒価値が大きいのが普通である。

【0008】また、2つの位置の制御棒1が機能的に区別がないため原子炉の起動や出力制御においても特に特定の位置の制御棒1を限定して操作されることは行なわれていなかった。さらに、従来のBWRでは運転サイクルの初めからサイクル終了直前まで炉心の流量を定流量より少なくし、減速材の密度を運転前半で低く、運転終了時では高くする、いわゆる流量スペクトルシフト運転が行なわれている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】発電用原子炉では燃料の燃焼度を増加することによって燃料のコストが低下するため、近年燃料コストを低下させるべく、燃料ウランの濃縮度を増加させるなどの方法で取り出し燃焼度を高めたり、一方ではウラン燃料再処理の結果生じた様々な組成のプルトニウム（以後Pu）を含んだ混合酸化物燃料（以後MOX燃料）を利用することも行なわれている。

【0010】高燃焼度燃料を使用する場合、一般に中性子の減速状態がより減速不十分の方向に変化するため、炉停止余裕やボイド係数など減速材密度に関連した反応度特性が従来の燃料より非安全側となる特性があることが知られており、このため高燃焼度化とともに減速材の量を増加して減速材と燃料の体積比率（以後、減速材燃

料体積比)を大きくすることが必要となる。

【0011】また、MOX燃料の場合は、使用済燃料の違いなどにより色々な富化度のものが発生するため、高燃焼度燃料の場合とは異なり、色々な組成の燃料に対して安全に使用できる柔軟性が要求される。従来の燃料集合体では上記の高燃焼度燃料やMOX燃料の利用に対してはウォータロッドの増加によって減速材燃料体積比を増加してその燃焼度専用に使用するように専用化している。

【0012】従来のように減速材燃料体積比一定の燃料集合体では、燃焼度一定の条件で安全な運用が可能であるが、燃焼度の変化や異なる燃焼度の混在あるいはMOX燃料の組成の変動がある場合、従来の燃料集合体および炉心構造ではウォータロッドの形状や本数により減速材燃料体積比が定められ、固定のため、反応度特性を安全な範囲に入るような考慮が必要であった。例えば核分裂性物質の富化度が小さいMOX燃料を目標燃焼度の高い燃料集合体に入れて使用する場合、減速材が過剰となり、原子炉起動時のような炉心低温時にはボイド反応度がプラスになる場合があった。

【0013】また、原子炉炉心に出し入れされる制御棒は原子炉運転中必ずしも全数必要とされ、使用されるわけではない。使用しない制御棒は緊急時に原子炉停止用として使用するのみとなっており、制御棒は効率的に利用されているとは必ずしも言えなかった。

【0014】さらに、炉心の流量を変化させて蒸気ボイドの割合を変化させ、炉心の反応度を制御して効率的燃焼を行なう、いわゆる流量スペクトルシフト運転は、燃料の冷却材の流量を変化させているため、流量を少なくすると燃料の冷却特性に影響を与えるおそれがあり、炉心の熱特性を考慮しながら運転を行なう必要があった。

【0015】本発明は、上述した事情を考慮してなされたもので、スペクトルシフト用制御棒を用いて減速材(冷却材)を排除し、減速材燃料体積比を調節して炉心の反応度特性を改善した原子炉用制御棒、炉心構造およびその運転方法を提供することを目的とする。

〔発明の構成〕

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明に係る原子炉用制御棒は、上述した課題を解決するために請求項1に記載したように、中央構造材に制御棒シースを結合して横断面十字状に形成し、上記制御棒シース内に不活性ガス封入用の水排除空間を形成してスペクトルシフト用制御棒を構成し、このスペクトルシフト用制御棒は低温時における反応度値が出力運転時における反応度値より小さく設定したものである。

【0017】また、上述した課題を解決するために、本発明に係る原子炉の炉心構造は、請求項2に記載したように、原子炉炉心部に装荷される燃料集合体の角筒状チャンネルボックスの対角線位置に2つの横断面十字状の

制御棒を出し入れ可能に配設し、一方の制御棒をスペクトルシフト用制御棒で構成したものである。

【0018】さらに、本発明は上述した課題を解決するために、請求項3に記載したように、原子炉の起動時のような炉心低温時にスペクトルシフト用制御棒を炉心挿入状態に保持しつつ、上記スペクトルシフト用制御棒以外の制御棒を優先的に引き抜いて臨界とする原子炉の運転方法を提供したり、また、請求項4に記載したように、原子炉の出力運転時に、運転サイクルの初めからサイクルの途中までスペクトルシフト用制御棒を炉心に挿入し、その後スペクトルシフト用制御棒を炉心から引き抜いてスペクトルシフト運転を行なう原子炉の運転方法を提供するものである。

【0019】

【作用】減速材(冷却材)である水は温度状態によって反応度に対する寄与がプラスである場合とマイナスである場合がある。原子炉は例えば出力運転相当の減速材密度では炉心が負のボイドフィードバックを持つようにホイド発生に対して一般に負の反応度となるように設計されている。また原子炉や炉心の低温状態では減速材の密度が大きく、中性子は過減速であり、正のボイドフィードバックを持つ。このため炉心の低温状態で減速材を排除し、寄生吸収の小さい材質でスペクトルシフト用制御棒を構成すると、炉心が低温では反応度値がマイナスで小さいかあるいはプラスとなり、出力運転時にはこの反応度より大きいマイナスの反応度を持つスペクトルシフト用制御棒とすることができる。

【0020】このようなスペクトルシフト用制御棒は基本的に中性子吸収物質を含まないため反応度抑制のために別の制御棒が必要であるが、1燃料集合体に2本の制御棒を用い、片方を中性子吸収物質を含む標準的な制御棒とすることにより従来程度の原子炉炉心の反応度制御能力を確保できる。

【0021】また、2本の制御棒のうち、一方をスペクトルシフト用の制御棒とすると、温度低下に従い負の反応度値が増加するため、炉心の昇温に伴って負の反応度が加えられていく。この負の反応度効果は反応度の温度係数がよりマイナスとなるので炉心の出力が温度に対して安定となるよう働く。

【0022】また原子炉炉心の低温、特に炉心部にスペクトルシフト用の制御棒を挿入することにより減速材燃料体積比を小さくできるのでボイド反応度を常に負に保つことができる。

【0023】さらにスペクトルシフト用制御棒の反応度は従来の制御棒より反応度が格段に小さいので、原子炉の出力運転時の減速材燃料体積比の制御にも使用することができる。このスペクトルシフト用制御棒を運転サイクルの初めからサイクルの途中まで炉心に挿入状態として、以後炉心から引き抜くとスペクトルシフト運転が可能である。この原子炉の運転方法では燃料部分の冷却材

を変化させていないため、通常問題となる流量スペクトルシフト運転の場合の限界出力の低下が関係なく、燃料の健全性を損うことなくスペクトルシフト運転ができるようになる。

【0024】

【実施例】以下、本発明の実施例について添付図面を参照して説明する。

【0025】図1は本発明に係る原子炉用制御棒を例示するもので、この制御棒20は沸騰水型原子炉や加圧水型原子炉等の原子炉炉心部に出入れ自在に収容されるスペクトルシフト用制御棒である。

【0026】スペクトルシフト用制御棒20の外観形状は図7に示す従来の代表的な通常型制御棒1と異ならないが、この制御棒20はジルコニウム製の中央構造材（タイロッド）21に深いU字状断面を有するジルコニウム製の制御棒シース22を固着して横断面十字状のウイングが構成される。上記制御棒シース22は図示しない上部構造材および下部構造材に密封されて気密構造に形成され、内部に水排除空間23を確保している。制御棒シース22内にはヘリウムガス等の不活性ガスが加圧状態で封入される一方、例えば直径約5mmφの気密構造のジルコニウムチューブ24が水排除棒として例えば36本三角格子状に列をなして最密充填される。

【0027】このスペクトルシフト用制御棒20が従来の通常型制御棒と基本的に異なる点は、制御棒シース22内に中性子吸収物質である中性子吸収棒が配列されないとともに、制御棒シース22内に不活性ガスが封入されて気密構造とされていることである。制御棒シース22内に気密構造のジルコニウムチューブ24を収容した場合には、制御棒シース22内を気密にしなくても、水排除空間を確保することができる。

【0028】次に、スペクトルシフト用制御棒の作用を説明する。

【0029】このスペクトルシフト用制御棒20を標準的な燃料集合体に付設した場合の反応度値に対する温度変化を図2に示す。

【0030】このスペクトルシフト用制御棒20は、制御棒シース22内に封入される不活性ガス以外は、全てジルコニウム製であるため、標準的な通常型制御棒に用いられるステンレス鋼製に比較して中性子の寄生吸収が小さく、スペクトルシフト用制御棒20を原子炉の炉心部に挿入したとき、水排除空間の存在により水排除効果（減速材の密度を低減させる効果）が支配的な制御棒の反応度作用となっている。このため、スペクトルシフト用制御棒20を原子炉炉心に挿入したとき、炉心低温時でややプラスの反応度値があり、温度増加に伴う減速材（水）の密度減少により反応度値がマイナスに転じるようになっている。

【0031】このスペクトルシフト用制御棒20を炉心に挿入した状態では、炉心の温度増加に対して負の反応

度フィードバックが働き、炉心低温から出力運転までの範囲の温度領域では出力レベルを安定にする効果がある。また、炉心低温時には通常型制御棒引き抜き状態では正のボイド反応度であるがこのスペクトルシフト用制御棒20を挿入することによりボイド反応度は負となる。負のボイド反応度を利用することによりスクラム時の反応度を改善できる。また、スペクトルシフト用制御棒20の全挿入状態では反応度値は小さいため、水排除制御棒として使用できる。

【0032】スペクトルシフト用制御棒20は制御棒シース22内が気密構造であり、制御棒シース22内に収容されるジルコニウムチューブである密閉チューブ24は最密充填されているため無駄なく水排除ができる構造となっている。ジルコニウムチューブに封入されたヘリウムガスは加圧されているため大気圧の場合に比較して外部からの圧力に対して圧縮強度が向上している。

【0033】また、このスペクトルシフト用制御棒20は通常用いられるB<sub>4</sub>Cのような中性子吸収体を含まないため通常の制御棒よりは反応度値が小さくスクラム反応度も小さくなっている。反応度値を向上させる対策としてスペクトルシフト用制御棒20の先端部分にのみB<sub>4</sub>Cやハフニウム等の中性子吸収体を装填し、全挿入時にはその先端が燃料有効部分の外に出る構造としてもよい。

【0034】さらに、気密構造のジルコニウムチューブの代りにジルコニウム製の水排除棒を使用しても同様な効果が得られ、この場合圧力に対する強度はジルコニウムチューブの場合と異なり殆ど考慮しなくてもよい。

【0035】スペクトルシフト用制御棒20をジルコニウムで形成することにより、制御棒の軽量化が図れ、制御棒駆動機構の負担を軽減させることができる。スペクトルシフト用制御棒20は制御棒シース22内を気密構造とした場合には、ジルコニウムチューブなどの水排除棒を必ずしも充填させる必要はなく、内部を中空の水排除空間としてもよい。この場合には、U字状の制御棒シース22の間隔を保持し、機械的強度を保つために、制御棒シース22内に例えばコマ状の複数の間隔保持スペーサを介装させるとよい。この場合にはジルコニウムチューブを介装させる必要がなく、スペクトルシフト用制御棒のより一層の軽量化が図れる。

【0036】なお、図1にはスペクトルシフト用制御棒20の制御棒シース22内にジルコニウムチューブのような密閉チューブ24を収容した例を示したが、収容されるチューブ（中実棒でもよい。）の素材はジルコニウムに限定されず、中性子吸収が小さな物質を組み合わせてもよく、例えばジルコニウムチューブの中に酸化ジルコニウムの粉末を充填したり、ジルコニウムの代りにアルミニウム等の金属材料を用いてもよい。

【0037】次に、原子炉用制御棒の第2実施例について、図3を参照して説明する。

【0038】図3に示された原子炉用制御棒は、燃料集合体30の角筒状チャンネルボックス31の対角線位置に、通常型の制御棒32とスペクトルシフト用制御棒20Aとを対向させて配置したもので、4体1組の燃料集合体30の1体に対し、スペクトルシフト用制御棒20Aと通常型制御棒32の2本が対向配置された炉心構造を有している。

【0039】燃料集合体30は高燃焼型のもので、チャンネルボックス31内に例えば88本と多数の燃料棒33が10行10列の正方格子状に配設され、その中央部に例えば4本のウォータロッド34が配置される。

【0040】角筒状チャンネルボックス31の対角線位置に配置される原子炉用制御棒のうち、一方のスペクトルシフト用制御棒20Aは、タイロッドを構成するジルコニウム製の中央構造材21に深いU字状断面のジルコニウム製制御棒シース22が固着されて横断面十字状のウイングを構成する一方、制御棒シース22内に直径の細いジルコニウム製の密閉チューブ24aが三角格子状に密に配列される。密閉チューブ24a内にはヘリウムガス等の不活性ガスが封入されて水排除空間が形成される。スペクトルシフト用制御棒20Aは図1の第1実施例で示すものと同様の反応度効果があり、炉心低温時より出力運転時の方が制御棒価値が大きくなっている。

【0041】一方、通常型の制御棒32は、ステンレス鋼製中央構造材35に深いU字状断面を有するステンレス鋼製の制御棒シース36が固着されて横断面十字状のウイングが構成される一方、制御棒シース36内に燃料棒33とほぼ同径のB<sub>4</sub>Cペレット等の中性子吸収物質を充填した中性子吸収棒37が一系列に配置される。中性子吸収棒37はハフニウム製等の中性子吸収材で形成してもよい。

【0042】通常型の制御棒32は、B<sub>4</sub>C等の中性子吸収物質を内蔵しており、制御棒価値が大きいため、炉心低温時や出力運転時とも炉停止用などに用いることができる。

【0043】図3では、通常型の制御棒32とスペクトルシフト用制御棒20Aのブレードの厚さは同一としているが通常型制御棒32についてはこの1/2程度の厚さでも制御棒価値は充分大きいので、通常型制御棒32を薄くしてスペクトルシフト用制御棒20Aを厚くすることもできる。

【0044】図4は本発明に係る原子炉用制御棒の第3実施例を示すもので、燃料集合体と原子炉用制御棒の配置関係を示す。

【0045】燃料集合体30Aは、従来の代表的な燃料集合体の4倍の面積を有する大型タイプのもので、この大型燃料集合体30Aは角筒状の大型チャンネルボックス40内に4体の小燃料集合体41を格納して構成される。小燃料集合体41はチャンネルボックス42内に例えば9行9列の正方格子状に72本の燃料棒43を収容

しており、その中央部に例えば1本のウォータロッド44が配置される。小燃料集合体41間の間隔は、大型燃料集合体30A間の間隔とほぼ同程度に形成され、小燃料集合体41の外側領域は、減速材である水が沸騰しない非沸騰水領域として形成される。

【0046】大型燃料集合体30Aの対角線位置に対向して配置される原子炉用制御棒のうち一方は、スペクトルシフト用制御棒20Bである。このスペクトルシフト用制御棒20Bは、ジルコニウム製の中央構造材21に固着されたジルコニウム製の制御棒シース22内に密閉チューブ24を一系列に収容している。この密閉チューブ24は例えばジルコニウム製で内部にヘリウムガス等の不活性ガスが封入される。

【0047】他方の原子炉用制御棒は通常型の制御棒32Aであり、ステンレス鋼製の制御棒シース36内にB<sub>4</sub>C粉末等の中性子吸収物質が充填された中性子吸収棒（ボイズンチューブ）37が一系列に配列せしめられている。制御棒シース36はステンレス鋼製の中央構造材35に固着されて横断面十字状のウイングを構成している。

【0048】この原子炉用制御棒においても、図3に示す原子炉用制御棒と同等の制御棒効果を有し、さらに、制御棒の数が燃料集合体の面積当たり、図3の第2実施例で示す原子炉用制御棒の半分となっていることから、制御棒駆動機構の必要数を減少することができ、その結果炉心下部の開口部を減少できることになり原子炉圧力容器の機械強度を大きくできる効果がある。

【0049】次に、通常型制御棒32Aとスペクトルシフト用制御棒20Bとを用いた沸騰水型原子炉（BWR）の炉心構造について、図5を参照して説明する。

【0050】図5は、BWRの炉心の出力運転状態を示す1/4炉心45を示すものである。この炉心45には燃料集合体46が4体1組ずつ組をなして規則的に装荷され、炉心45の4体1組の燃料集合体47間に通常型制御棒48やスペクトルシフト用制御棒49が図示しない制御棒駆動機構により炉心45に出入れ自在に配置される。通常型制御棒48とスペクトルシフト用制御棒49とは交互に配置される。

【0051】この原子炉炉心45の出力運転状態においては、反応度価値が白抜きで示す他の燃料集合体46より低い斜線で示す燃料集合体47に隣接する位置（4体1組の燃料集合体間のコントロールセル）にのみ、通常型の制御棒48を挿入して反応度制御を行なう。

【0052】このBWRの炉心構造においては、原子炉の運転は、運転サイクル初期からサイクル途中まではスペクトルシフト用制御棒49を挿入状態として運転する。この後、サイクル終了まではスペクトルシフト用制御棒49を引抜として運転し、スペクトルシフト運転を行なう。この炉心構造にスペクトルシフト用制御棒49を配置し、このスペクトルシフト用制御棒49の出入れ

によりスペクトルシフト効果を利用することができる。またコントロールセルのみに通常型の制御棒48を挿入するため、制御棒操作による出力ピーキングの増加を抑制することができる。

【0053】図6は、原子炉起動時のように、炉心低温時におけるBWRの1/4炉心の炉心構造を示すものである。この炉心構造では、原子炉炉心45が低温状態の場合に、その起動を核加熱で行なう場合の例を示している。

【0054】原子炉炉心が低温状態の場合には、スペクトルシフト用制御棒49は全て挿入状態とし、通常型制御棒48を順次引き抜いて臨界とする。以後、低温からホットスタンバイまでスペクトルシフト用制御棒49は挿入状態としておく。

【0055】このような原子炉運転を行なうと、スペクトルシフト用制御棒49が減速材を排除してその部分の密度を減少させるので、スペクトルシフト用制御棒49は減速不十分の方向に変化させることができ、一般にボイド反応度を負にすることができる。また燃料の組成が変化してもスペクトルシフト用制御棒49の挿入本数を

【0056】

【発明の効果】以上に述べたように、本発明に係る原子炉用制御棒においては、請求項1に記載したように、中央構造材に制御棒シースを結合して横断面十字状に形成し、上記制御棒シース内に不活性ガス封入用の水排除空間を形成したスペクトルシフト用制御棒を構成し、この制御棒は低温時における反応度値を出力運転時における反応度値より小さく設定したので、スペクトルシフト用制御棒を炉心に挿入したとき、減速材を排除してその密度を減少させることができ、減速材燃料体積比を変化させて炉停止余裕やボイド係数などの反応度特性を改善することができる。

【0057】また、本発明の原子炉の炉心構造は、請求項2に記載したように、原子炉炉心部に装荷される燃料集合体の角筒状チャンネルボックスの対角線位置に2つの横断面十字状の制御棒を出し入れ可能に配設し、一方の制御棒をスペクトルシフト用制御棒で構成したので、燃料集合体の対角線位置に配設される2つの制御棒を機能的に区別でき、原子炉起動や出力制御運転を特定位置の制御棒操作により行なうことができる一方、スペクトルシフト用制御棒を採用することにより、減速材の流量を増減させることなく、中性子のエネルギーレベルのスペクトルシフトを行なうことができる。

【0058】さらに、本発明に係る原子炉の運転方法においては、請求項3に記載したように、原子炉の炉心低

温時には、スペクトルシフト用制御棒を挿入状態に保ち、スペクトルシフト用制御棒以外の制御棒を優先して引き抜いて臨界とする運転を行なったり、また、請求項4に記載したように、原子炉の出力運転時に、運転サイクルの初めから途中までスペクトルシフト用制御棒を炉心に挿入し、以後、この制御棒を引き抜いてスペクトルシフト運転を行なうから、減速材流量の増減制御を行なわなくても燃料の健全性を保ちつつ減速材燃料体積比を変化させることができ、炉心の反応度特性を改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る原子炉用制御棒の一実施例を示す平断面図。

【図2】スペクトルシフト用制御棒の特性を示す説明図。

【図3】本発明に係る原子炉用制御棒の第2実施例を示すもので、スペクトルシフト用制御棒と燃料集合体の配置を示す断面図。

【図4】本発明に係る原子炉用制御棒の第3実施例を示すもので、スペクトルシフト用制御棒と燃料集合体の配置を示す断面図。

【図5】本発明の出力運転時の原子炉の運転方法の説明図。

【図6】本発明の低温からの起動における原子炉の運転方法の説明図。

【図7】従来の原子炉用制御棒の説明図。

【図8】従来の燃料集合体と制御棒の関係を示す説明図。

【符号の説明】

20, 20A, 20B, 49 スペクトルシフト用制御棒

21 中央構造材

22 制御棒用シース

23 水排除空間

24 密閉チューブ（ジルコニウムチューブ）

30, 46, 47 燃料集合体

30A 大型燃料集合体

31 チャンネルボックス

32, 32A, 48 通常型の制御棒

33 燃料棒

34 ウォータロッド

35 中央構造材

36 制御棒シース

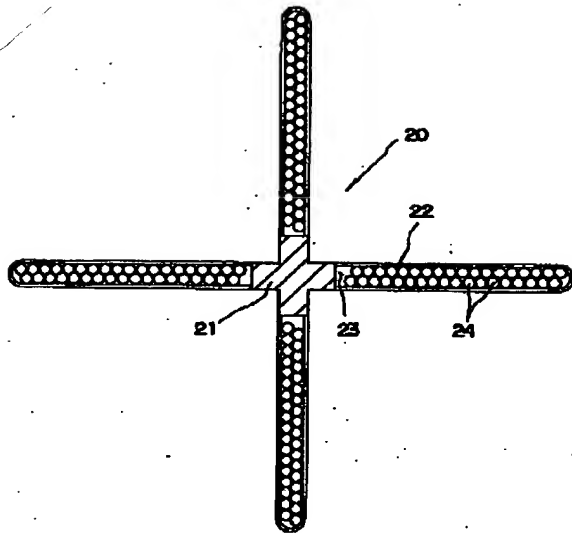
37 中性子吸収棒

40 大型チャンネルボックス

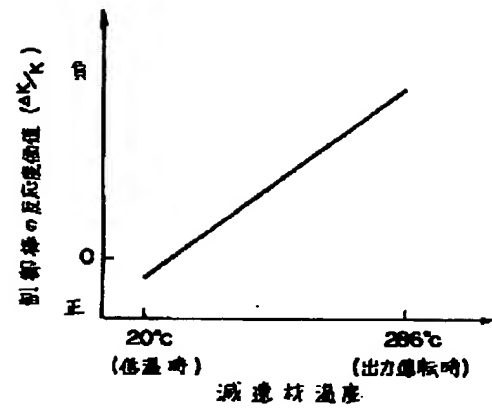
41 小燃料集合体

45 炉心

【図1】

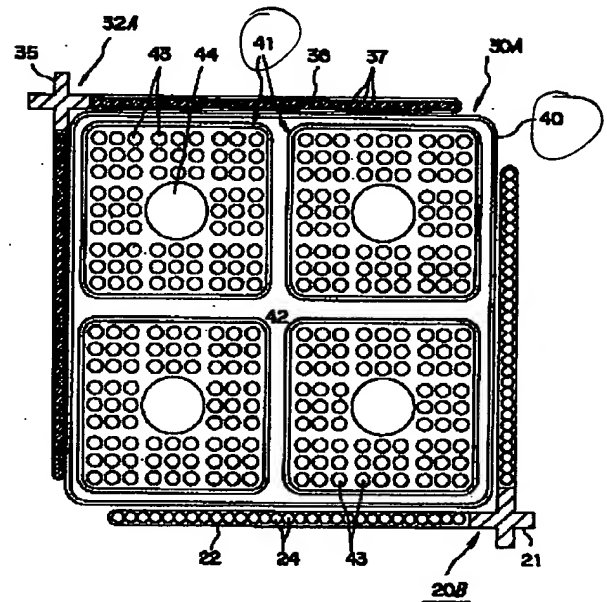


【図2】

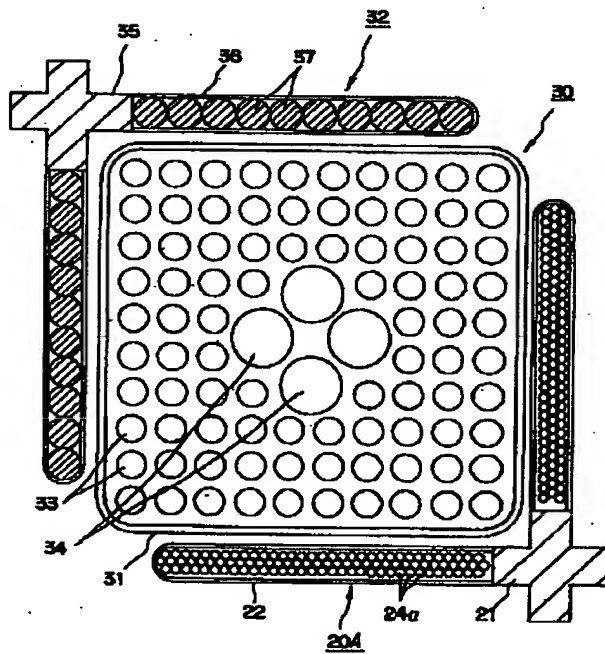


MINI-BAMPLE?

【図4】

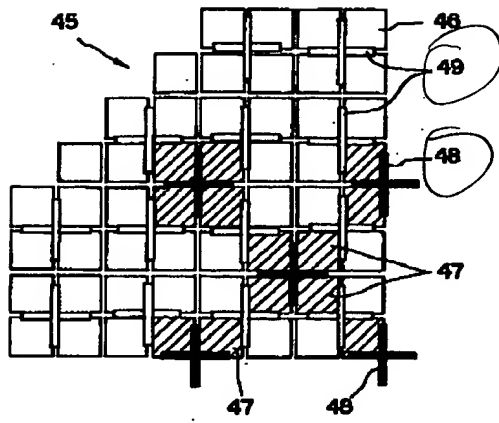


【図3】

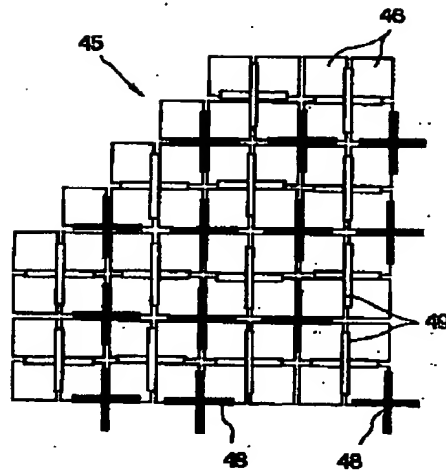




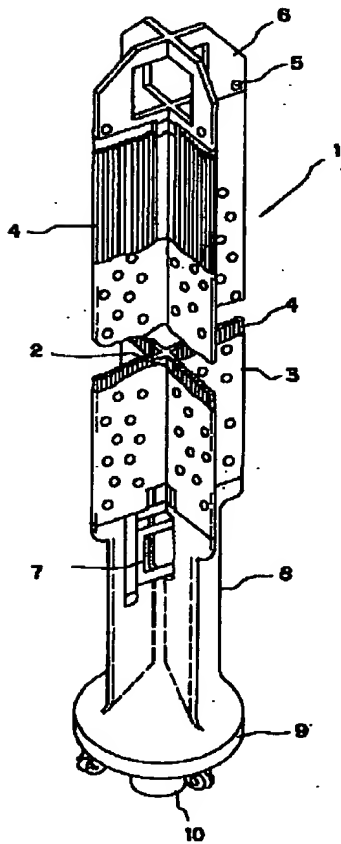
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

